Разработка программного обеспечения для компьютерного модулирования двухзвенной кусочно-линейной экономико-математической модели с учетом влияния факторов неопределенности в трехмерном векторном пространстве

© 2010
А.Г. Алиев
кандидат экономических наук, доцент
Азербайджанская государственная нефтяная академия
E-mail:azad_dosent@yahoo.com

Новейшие достижения математики и современной вычислительной техники находят все более широкое применение в экономических исследованиях. В статье разработано программное обеспечение для компьютерного модулирования двухзвенных кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния факторов неопределенности в трехмерном векторном пространстве. Показан алгоритм действий по данной программе.

Ключевые слова: конечномерное векторное пространство, кусочно-линейные экономико-математические модели с учетом влияния фактора неопределенности в трехмерном векторном пространстве, неучтенные факторы, алгоритм компьютерного модулирования, программа MATLAB.

1. Постановка задачи

Развитие современного общества характеризуется повышением технического уровня, усложнением организационной структуры производства, углублением общественного разделения труда, предъявлением высоких требований к методам планирования и хозяйственного руководства. Современная динамично изменяющаяся рыночная среда как сложная система, функционирующая в условиях неопределенности, порождает ряд задач, требующих адекватного анализа, оценки и выбора обоснованных решений.

За последние годы одним из основных направлений совершенствования управления экономикой, хозяйственного механизма является использование математических методов. При решении практических операционных задач находят эффективное применение различные оптимизационные модели и методы оптимизации, основанные на использовании математического программирования[1].

Возникающие трудности при построении математических моделей сложной экономической системы заключаются в следующем:

- если модель содержит много связей между элементами, имеются разнообразные нелинейные ограничения, а также если имеется большое число параметров и т.д.;
- реальные системы зачастую подвержены влиянию случайных различных факторов, учет которых аналитическим путем представляет весьма большие трудности, зачастую непреодолимые при большом их числе;
- при таком подходе сопоставление построенной аналитической модели и оригинала возможно лишь вблизи начала экономического события. Вдали от начала события степень погрешности между ними сильно увеличивается.

Иными словами, из-за большого потока информации они не поддаются качественной программной обработке. Особенно это касается некоторых факторов, носящих характер неопределенности и сложной структуризации информации и формализации процессов ее переработки[2].

Сложность решения проблем экономических задач заключается также в отсутствии четкого и полного определения понятия неопределенности в экономике, в отсутствии надлежащей ее классификации, а также в отсутствии надежного математического представления явления “неопределенность”. Все это увеличивает вероятность риска и банкротств, понижает степень экономической эффективности и т.д. В данной связи и возникает крайняя необходимость в детальном исследовании разновидностей явлений неопределенности в экономических процессах и их характерных особенностей.

Характер пространственной неоднородности и многомерности происходящего экономического процесса, изменяемость и скорость изменения во времени многофакторных экономических показателей многократно усложняют решение данной проблемы[3].

В настоящее время новейшие достижения математики и современной вычислительной техники находят все более широкое применение в экономических исследованиях и планированиях. Этому способствует развитие таких разделов математики, как математическое программирование, теория игр, теория массового обслуживания, а также бурное развитие быстродействующей электронно-вычислительной техники.

Для достижения наибольшего эффекта при моделировании и компьютерном программировании объектов рыночной экономики целесообразно применение интеллектуальных технологий, позволяющих осуществить экономический анализ, прогнозирование и планирование в условиях неопределенности, что дает возможность наряду с количественными экономическими показателями учесть также слабо формализуемые качественные факторы и взаимосвязи.

В литературе[4] разработана теория построения кусочно-линейных экономико-математических моделей в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве. В ней сформулирован постулат “пространственно-временная определенность экономического процесса в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве”; разработана теория построения кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов в конечномерном векторном пространстве, впервые предложен метод многовариантного прогнозирования экономического процесса и управления им в условиях неопределенности в m-мерном векторном пространстве.

Здесь к фундаментальным результатам следует отнести построение зависимости любого n-го кусочно-линейного векторного уравнения $\vec{z}_n$ от 1-й кусочно-линейной функции и всех пространственного вида функций влияния неучтенных параметров , воздействующих на всем предыдущем интервале экономического события следующего вида:

$$\vec{z}_n=\vec{z}_1\left\{1+A\left[1+\omega_n(\lambda_n,\alpha_{n-1,n})+\sum_{i=2}^{n-1\geq 2}\omega_i(\lambda_i^{k_i},\alpha_{i-1,i})\right]\right\},$$

а также построение прогнозирующей вектор-функции экономического процесса $\vec{Z}_{N+1}(\beta)$ с учетом влияния прогнозирующей функции неучтенных параметров в конечномерном векторном пространстве вида

$$\vec{Z}_{N+1}(\beta)=\vec{z}_1\left\{1+A\left[1+\sum_{i=2}^{N}\omega_i(\lambda_i^{k_i},\alpha_{i-1,i})+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\Omega_{N+1}(\lambda_{N+1},\alpha_{N,N+1})\right]\right\}.$$

Причем, воздействуя функциями влияния неучтенных параметров вида $\Omega_{N+1}(\mu_{N+1};\lambda_{N+1},\alpha_{N,N+1})$ с конца векторного уравнения кусочно-линейной прямой $\vec{z}_N^{k_N}(\mu_N^{k_N};\ \lambda_N^{k_N},\alpha_{N-1,N})$, будут исходить прогнозирующие вектор-функции , которые представят собою образующие гиперконической поверхности конечномерного векторного пространства, а точки ее направляющей будут формировать линию прогнозирования экономического процесса в конечномерном векторном пространстве.

Далее в работах[5] вышеизложенная теория применялась для случая двухмерного экономического процесса, причем с изложением в координатном варианте. Таким образом, на плоскости предложена: кусочно-линейная экономико-математическая модель в условиях неопределенности; дана геометрическая интерпретация введенного неучтенного параметра и функции влияния неучтенных факторов $\omega_n(t,\lambda_n)$; методика численного построения на плоскости кусочно-линейной экономико-математической модели, а также численная методика прогнозирования экономического события и управления им с учетом влияния неучтенных факторов.

Из данных работ можно легко проследить алгоритм математического построения такого класса экономико-математических моделей.

В работах[6] разработано специальное программное обеспечение для компьютерного модулирования численного построения и определения прогнозных величин экономического события с помощью кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости.

Данная программа была успешно апробирована на многочисленных примерах, где было получено полное соответствие графическим представлениям ранее разработанных плоскостных кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов (выпуклостью кверху и книзу), а также в вопросе установления области изменения прогнозируемой функции выпуклостью кверху и книзу, что свидетельствует о ее надежности. Данная программа апробирована и для кусочно-линейных моделей синусоидального типа[7].

Однако возникающие трудности вычислительного характера требуют создания специального программного обеспечения для компьютерного программирования и создания алгоритма действий для экономических процессов в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве.

В данной связи разработано[8] программное обеспечение для компьютерного модулирования двухзвенной кусочно-линейной экономико-математической модели с учетом влияния факторов неопределенности в *m*-мерном векторном пространстве. Здесь закладываются теоретические основы программирования подобных задач в конечномерном векторном пространстве.

Результаты, изложенные в работах ряда авторов[9], дают необходимый теоретический, расчетный инструментарий для создания принципиально нового, перспективного программного обеспечения для компьютерного модулирования, при построении и многовариантном прогнозировании экономического состояния с помощью кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния фактора неопределенности в трехмерном векторном пространстве.

В данной связи в статье предлагается специальное программное обеспечение для компьютерного модулирования для случая двухзвенной кусочно-линейной экономико-математической модели в условиях неопределенности в трехмерном векторном пространстве.

2. Алгоритм компьютерного модулирования для построения двухзвенной кусочно-линейной модели экономического состояния с учетом влияния неучтенных факторов в трехмерном векторном пространстве, разработанный в программе MATLAB

Как видно из вышеизложенного, экономисты среднего звена будут испытывать существенные трудности при проведении довольно громоздких математических вычислений, необходимых в данных расчетах.

С целью облегчить применимость данной методики к наиболее широкому классу экономических процессов, а также сделать доступной широкому кругу специалистов, избавив их от лишней работы, нами разработано программное обеспечение для компьютерного модулирования, применяемое при построении двухзвенных кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов в трехмерном векторном пространстве, разработанное в программе MATLAB. Показан алгоритм действий по данной программе.

Следует также отметить, что программа MATLAB имеет свои ограничительные особенности, это вынуждает нас вводить некоторые дополнительные обозначения или придерживаться определенной поочередности в вычислительных операциях.

Ниже для случая двухзвенной кусочно-линейной вектор-функции в трехмерном векторном пространстве на основе программы MATLAB дается алгоритм для численного метода счета и рассмотрен конкретный пример.

Проследим алгоритм модулирования данного класса экономико-математических моделей.

Согласно созданной теории[10] для случая двухзвенной кусочно-линейной вектор-функции в трехмерном векторном пространстве запишем основные уравнения и математические выражения, подлежащие численному программированию.

Пусть в трехмерном пространстве R_3 дана статистическая таблица, описывающая некоторый экономических процесс в виде множества точек (векторов) $\{\vec{a}_n\}$. Пусть эти точки будут представлены в виде смежного двухзвенного кусочно-линейного векторного уравнения вида:

$$\vec{z}_1 = \vec{a}_1 + \mu_1(\vec{a}_2 - \vec{a}_1), \qquad (1)$$

$$\vec{z}_2 = \vec{z}_1^{\,k_1} + \mu_2(\vec{a}_3 - \vec{z}_1^{\,k_1}), \qquad (2)$$

где $\vec{z}_1 = \vec{z}_1(z_{11}, z_{12}, z_{13})$ и $\vec{z}_2 = \vec{z}_2(z_{21}, z_{22}, z_{23})$ - уравнения 1-й и 2-й кусочно-линейных прямых в трехмерном векторном пространстве.

Векторы $\vec{a}_1(a_{11}, a_{12}, a_{13})$, $\vec{a}_2 = \vec{a}_2(a_{21}, a_{22}, a_{23})$ и $\vec{a}_3 = \vec{a}_3(a_{31}, a_{32}, a_{33})$ - заданные точки (векторы) в трехмерном пространстве вида:

$$\vec{a}_1 = a_{11}\vec{i}_1 + a_{12}\vec{i}_2 + a_{13}\vec{i}_3,$$

$$\vec{a}_2 = a_{21}\vec{i}_1 + a_{22}\vec{i}_2 + a_{23}\vec{i}_3,$$

$$\vec{a}_3 = a_{31}\vec{i}_1 + a_{32}\vec{i}_2 + a_{33}\vec{i}_3. \qquad (3)$$

Здесь $\mu_1 \geqslant 0$ и $\mu_2 \geqslant 0$ - произвольные параметры; $\vec{z}_1^{\,k_1}$ - точка пересечения прямых $\vec{z}_1$ и $\vec{z}_2$.

Целью исследования является следующее. Задаваясь аппроксимационными точками $\vec{a}_1$, $\vec{a}_2$, $\vec{a}_3$, а также значением параметров $\mu_1^{k_1} = \mu_1^*$ и $\mu_2^{k_2} = \mu_2^*$, разработать компьютерный алгоритм вычисления следующих уравнений и математических выражений[11]:

$$\vec{z}_1^{\,k_1} = \vec{a}_1 + \mu_1^{k_1}(\vec{a}_2 - \vec{a}_1), \qquad (4)$$

$$\mu_1^{k_2} = \mu_1^{k_1} + \mu_2^{k_2}\frac{(\vec a_3 - z_1^{k_1})^2}{(\vec a_3 - z_1^{k_1})(\vec a_2 - \vec a_1)}, \qquad (5)$$

$$\vec z_1^{k_2} = \vec a_1 + \mu_1^{k_2}(\vec a_2 - \vec a_1), \qquad (6)$$

$$\vec z_2^{k_2} = \vec z_1^{k_1} + (\mu_1^{k_2} - \mu_1^{k_1})\frac{(\vec a_3 - \vec z_1^{k_1})(\vec a_3 - a_1)}{(\vec a_3 - \vec z_1^{k_1})^2}(\vec a_3 - \vec z_1^{k_1}), \qquad (7)$$

$$Cos\alpha_{1,2} = \frac{(\vec z_1^{k_2} - \vec z_1^{k_1})(\vec z_1^{k_2} - \vec z_1^{k_1})}{\left|\vec z_1^{k_2} - \vec z_1^{k_1}\right|\left|\vec z_1^{k_2} - \vec z_1^{k_1}\right|}, \qquad (8)$$

$$A = (\mu_1^{k_1} - \mu_1^{k_2})\frac{\left|\vec a_2 - \vec a_1\right|\left|\vec z_1^{k_1} - \vec a_1\right|}{\vec z_1^{k_2}(\vec z_1^{k_1} - \vec a_1)}, \qquad (9)$$

$$\lambda_2 = \frac{\mu_2^{k_2}}{\mu_1^{k_1} - \mu_2^{k_2}}\cdot\frac{\left|\vec z_1^{k_2} - \vec z_1^{k_1}\right|\left|\vec a_3 - \vec z_1^{k_1}\right|}{\vec z_1^{k_2}(\vec z_1^{k_2} - \vec z_1^{k_1})}\cdot\frac{\vec z_1^{k_2}(\vec z_1^{k_1} - \vec a_1)}{\left|\vec a_2 - \vec a_1\right|\left|\vec z_1^{k_1} - \vec a_1\right|}, \qquad (10)$$

$$\omega_2(\lambda_2, \alpha_{1,2}) = \lambda_2 Cos\alpha_{1,2}, \qquad (11)$$

$$\vec z_2 = \vec z_1^{k_2}\{1 + A[1 + \omega_2(\lambda_2, \alpha_{1,2})]\}, \qquad (12)$$

, (13)

$$\mu_2 = (\mu_1 - \mu_1^{k_1}) + \frac{(\vec a_3 - \vec z_1^{k_1})(\vec a_2 - \vec a_1)}{(\vec a_3 - \vec z_1^{k_1})^2}, \qquad (14)$$

$$A(\mu_1) = (\mu_1^{k_1} - \mu_1)\frac{\left|\vec a_2 - \vec a_1\right|\left|\vec z_1^{k_1} - \vec a_1\right|}{\vec z_1(\vec z_1^{k_1} - \vec a_1)}, \qquad (15)$$

$$\lambda_2(\mu_1) = \frac{\mu_2}{\mu_1^{k_1} - \mu_1}\cdot\frac{\left|\vec z_1 - \vec z_1^{k_1}\right|\left|\vec a_3 - \vec z_1^{k_1}\right|}{\vec z_1(\vec z_1 - \vec z_1^{k_1})}\cdot\frac{\vec z_1(\vec z_1^{k_1} - \vec a_1)}{\left|\vec a_2 - \vec a_1\right|\left|\vec z_1^{k_1} - \vec a_1\right|}, \qquad (16)$$

$$\omega_2(\mu_1) = \lambda_2(\mu_1)Cos\alpha_{1,2}, \qquad (17)$$

$$\vec z_2(\mu_1) = \vec z_1\{1 + A(\mu_1)[1 + \omega_2(\mu_1)]\}. \qquad (18)$$

Для этого вводим основные обозначения:

;

$\vec a_2$;

$\vec a_3$;

$\mu_1 \longrightarrow$ m1;

$\longrightarrow$ m1k1;

$\longrightarrow$ m1k2;

;

$\vec z_2^{k_2}$ z2k2;

;

$\mu_2 \longrightarrow$;

$A(\mu_1) \longrightarrow$;

$\lambda_2(\mu_1) \longrightarrow$;

$\omega_2(\mu_1) \longrightarrow$;

$\vec z_2(\mu_1)$.

Пользуясь введенными обозначениями, составим программу для численного построения двухзвенных кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов в трехмерном векторном пространстве в программе MATLAB в следующем виде:

```
a1=[a11 a12 a13]
a2=[a21 a22 a23]
a3=[a31 a32 a33]
m1k1=(m1)·
m2k2=(m2)·

for m1=J1: J2 :J3;
z1k1=a1+m1k1·(a2-a1);
m1k2=m1k1+m2k2·((a3-z1k1)·(a3-z1k1)’)/((a3-z1k1)·(a2-a1)’);
z1k2=a1+m1k2·(a2-a1);
z2k2=z1k1+(m1k2-m1k1)·((a3-z1k1)·(a2-a1)’)/((a3-z1k1)·(a3-z1k1)’)·(a3-z1k1);
cosa12=((z1k2-z1k1)·(z2k2-z1k1)’)/(sqrt((z1k2-z1k1)·(z1k2-z1k1)’)·sqrt((z2k2-z1k1)·(z2k2-z1k1)’);
A=(m1k1-m1k2)·(sqrt((a2-a1)·(a2-a1)’)·sqrt((z1k1-a1)·(z1k1-a1)’))/(z1k2·(z1k1-a1)’);
p1=m2k2/(m1k1-m1k2);
p2=(sqrt((z1k2-z1k1)·(z1k2-z1k1)’)·sqrt((a3-z1k1)·(a3-z1k1)’)/(z1k2·(z1k2-z1k1)’);
p3=(z1k2·(z1k1-a1)’)/(sqrt((a2-a1)·(a2-a1)’)·sqrt((z1k1-a1)·(z1k1-a1)’);
La2=p1·p2·p3;
w2=La2·cosa12;
z2=z1k2·(1+A·(1+w2));
z1=a1+m1·(a2-a1);
m2=(m1-m1k1)·((a3-z1k1)·(a2-a1)’)/((a3-z1k1)·(a3-z1k1)’);
Am1=(m1k1-m1)·(sqrt((a2-a1)·(a2-a1)’)·sqrt((z1k1-a1)·(z1k1-a1)’)/(z1·(z1k1-a1)’);
p1m1=m2/(m1k1-m1);
p2m1=(sqrt((z1-z1k1)·(z1-z1k1)’)·sqrt((a3-z1k1)·(a3-z1k1)’)/(z1·(z1-z1k1)’);
```

$\vec{a}_1 = \vec{i}_1 + \vec{i}_2 + \vec{i}_3$

Таблица точек (векторов) 2-й кусочно-линейной прямой $z_2(\mu_1)$ в трехмерном векторном пространстве в зависимости от параметра $\mu_1 \geq 1{,}5$, определяемой по формуле $\vec{z}_2(\mu_1) = \vec{z}_1(\mu_1)\{1 + A(\mu_1)[1 + \omega_2(\mu_1)]\}$ при следующих заданных значениях: , $\vec{a}_2 = 3\vec{i}_1 + 2\vec{i}_2 + 4{,}5\vec{i}_3$, $\vec{a}_3 = 6\vec{i}_1 + 4\vec{i}_2 + 7\vec{i}_3$**, а также значениях параметров:** $\mu_1^{k_1} = 1{,}5$ **и** $\mu_2^{k_2} = 2$

№ п/п	μ_1	μ_2	$A(\mu_1)$	$\omega_2(\mu_1)$	$\vec{z}_1(\mu_1) = \vec{a}_1 + \mu_1(\vec{a}_2 - \vec{a}_1)$	$\vec{z}_2(\mu_1) = \vec{z}_1(\mu$
1	1,5	0	0	0	$\vec{z}_1(1{,}5) = 4\vec{i}_1 + 2{,}5\vec{i}_2 + 6{,}25\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(1{,}5) =$
2	2	0,5963	-0,2104	-0,5618	$\vec{z}_1(2) = 5\vec{i} + 3\vec{i}_2 + 8\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(2) = 4{,}539$
3	2,5	1,1927	-0,3476	-0,5618	$\vec{z}_1(2{,}5) = 6\vec{i} + 3{,}5\vec{i}_2 + 9{,}75\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(2{,}5) = 5{,}08$
4	3	1,789	-0,4442	-0,5618	$\vec{z}_1(3) = 7\vec{i} + 4\vec{i}_2 + 11{,}5\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(3) = 5{,}637$
5	3,1769	2	-0,4719	-0,5618	$\vec{z}_1(3{,}1769) = 7{,}3538\vec{i} + 4{,}1769\vec{i}_2 + 12{,}1192\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(3{,}1769) = 5{,}8$
6	3,5	2,3853	-0,5159	-0,5618	$\vec{z}_1(3{,}5) = 8\vec{i} + 4{,}5\vec{i}_2 + 13{,}25\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(3{,}5) = 6{,}191$
7	4	2,9817	-0,5712	-0,5618	$\vec{z}_1(4) = 9\vec{i} + 5\vec{i}_2 + 15\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(4) = 6{,}747$
8	4,5	3,578	-0,6152	-0,5618	$\vec{z}_1(4{,}5) = 10\vec{i} + 5{,}5\vec{i}_2 + 16{,}75\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(4{,}5) = 7{,}304$
9	5	4,1743	-0,6509	-0,5618	$\vec{z}_1(5) = 11\vec{i} + 6\vec{i}_2 + 18{,}5\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(5) = 7{,}862$
10	5,5	4,7706	-0,6806	-0,5618	$\vec{z}_1(5{,}5) = 12\vec{i} + 6{,}5\vec{i}_2 + 20{,}25\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(5{,}5) = 8{,}420$
11	6	5,3670	-0,7057	-0,5618	$\vec{z}_1(6) = 13\vec{i} + 7\vec{i}_2 + 22\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(6) = 8{,}979$
12	6,5	5,9633	-0,7271	-0,5618	$\vec{z}_1(6{,}5) = 14\vec{i} + 7{,}5\vec{i}_2 + 23{,}75\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(6{,}5) = 9{,}539$
13	7	6,5596	-0,7456	-0,5618	$\vec{z}_1(7) = 15\vec{i} + 8\vec{i}_2 + 25{,}5\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(7) = 10{,}098$
14	7,5	7,1560	-0,7617	-0,5618	$\vec{z}_1(7{,}5) = 16\vec{i} + 8{,}5\vec{i}_2 + 27{,}25\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(7{,}5) = 10{,}65$
15	8	7,7523	-0,7760	-0,5618	$\vec{z}_1(8) = 17\vec{i} + 9\vec{i}_2 + 29\vec{i}_3$	$\vec{z}_2(8) = 11{,}219$

```
p3m1=(z1·(z1k1-a1)')/(sqrt((a2-a1)·(a2-a1)')·sqrt((z1k1-a1)·(z1k1-a1)');
La2m1=p1m1·p2m1·p3m1;
w2m1=La2m1·cosa12;
z2m1=z1·(1+Am1·(1+w2m1));
end
```

3. Пример

В качестве примера рассмотрим таблицу статистических данных. Здесь векторам $\vec{a}_1$, , и параметрам и $\mu_2^{k_2}$ зададим следующие числовые значения:

```
a1=[1 1 1];
a2=[3 2 4, 5];
a3=[6 4 7];
m1k1=1,5;
m2k2=2;
for    m1=1,5:0,5:8.
```

Задачей исследования является в представлении точек 2-й кусочно-линейной прямой в зависимости от 1-й кусочно-линейной векторной функции $\vec{z}_1(\mu_1)$ и функции влияния неучтенных параметров для произвольных значений параметра μ_1, изменяющегося в интервале $\mu_1^{k_1} = 1{,}5 \le \mu_1 \le \mu_1^* = 8$, в виде

$$\vec{z}_2(\mu_1) = \vec{z}_1(\mu_1)\{1 + A(\mu_1)[1 + \omega_2(\mu_1)]\}.$$

После того как программа была полностью набрана в окне “Tditor”, нажимаем на окошко “Run” на панели инструментов. В результате автоматически всплывают необходимые математические вычисления в окне “Command Window”.

Резюмируя полученные численные результаты точек (векторов) 2-й кусочно-линейной прямой в зависимости от параметра , можно представить в виде вышеприведенной таблицы.

Все указанное полностью соответствует ранее проведенным вычислениям[12] при разработке теории построения кусочно-линейных экономико-математических моделей в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве.

---

[1] *Багриновский К.А., Матюшок В.М.* Экономико-математические методы и модели. М., 1999; *Браверман Э.М.* Неравновесные модели экономических систем. М., 1981; *Терехов Л.Л.* Экономико-математические методы. М., 1972; *Макаров В.Л., Рубинов А.М., Левин М.И.* Математические модели экономического взаимодействия. М., 1993.

[2] *Албегов М.М.* Краткосрочное прогнозирование в условиях неполной информации // Региональное развитие и экономическое сотрудничество. 1997. □ 1; Метод учета влияния разнородных факторов в экономических измерениях / Т.К. Богданова [и др.] // Экономика и мат. методы. 1997. Т. 33, □ 1; *Канторович А.В., Крылов В.И.* Приближенные методы высшего анализа. М., 1962.

[3] *Халмош П.Р.* Конечномерное векторное пространство. М., 1963; *Бугров Я.С., Никольский С.М.* Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. М., 1980; *Беллман Р., Заде Л.* Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М., 1976; *Алиев А.Г.* Экономико-математические методы и модели в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве. Баку, 2009.

[4] *Алиев А.Г.* Экономико-математические методы и модели в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве; *Его же*. Об одном критерии определенности экономического процесса в конечномерном векторном пространстве // Экономика, статистика и информатика: Вестн. УМО. 2008. □ 2. С. 33-37; *Его же*. Кусочно-линейные экономико-математические модели с учетом неопределенности в конечномерном векторном пространстве // Вестн. Хабар. гос. акад. экономики и права. 2008. □-5(38). С. 34-41; *Его же*. Об одном принципе прогнозирования и управления экономическими процессами с учетом фактора неопределенности в конечномерном векторном пространстве // Экономика, статистика и информатика: Вестн. УМО. 2008. □ 4. С. 27-32; *Его же*. Двухзвенная кусочно-линейная экономико-математическая модель и методика прогнозирования экономического процесса в условиях неопределенности в трехмерном векторном пространстве // Проблемы экономики. 2009. □ 2. С. 111-124; *Его же*. Основы кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости и многовариантное прогнозирование ими экономического события // Вопр. экон. наук. 2009. □ 3. С. 187-201.

[5] *Алиев А.Г.* Экономико-математические методы и модели в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве; *Его же*. Основы кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости и многовариантное прогнозирование ими экономического события.

[6] *Алиев А.Г.* Разработка программного обеспечения для компьютерного модулирования прогноза экономического события с помощью кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости // Экономика, статистика и информатика: Вестн. УМО. 2009. □ 4. С. 139-144; *Его же*. Разработка программного обеспечения для численного построения кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом неучтенных факторов на плоскости // Вопр. экон. наук. 2009. □ 5. С. 106-112.

[7] *Алиев А.Г.* Экономико-математические методы и модели в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве; *Его же*. Основы кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости и многовариантное прогнозирование ими экономического события.

[8] *Алиев А. Г.* Разработка программного обеспечения для компьютерного модулирования 2-х звенной кусочно-линейной экономико-математической модели с учетом влияния факторов неопределенности в m-мерном векторном пространстве // Естественные и технические науки. 2010. № 2.

[9] *Алиев А.Г.* Экономико-математические методы и модели в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве; *Его же.* Об одном критерии определенности экономического процесса в конечномерном векторном пространстве; *Его же.* Кусочно-линейные экономико-математические модели с учетом неопределенности в конечномерном векторном пространстве; *Его же.* Об одном принципе прогнозирования и управления экономическими процессами с учетом фактора неопределенности в конечномерном векторном пространстве; *Его же.* Двухзвенная кусочно-линейная экономико-математическая модель и методика прогнозирования экономического процесса в условиях неопределенности в трехмерном векторном пространстве; *Его же.* Основы кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости и многовариантное прогнозирование ими экономического события; *Его же.* Разработка программного обеспечения для компьютерного модулирования прогноза экономического события с помощью кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости; *Его же.* Разработка программного обеспечения для численного построения кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом неучтенных факторов на плоскости; *Его же.* Разработка программного обеспечения для компьютерного модулирования 2-х звенной кусочно-линейной экономико-математической модели с учетом влияния факторов неопределенности в m-мерном векторном пространстве.

[10] См.: *Алиев А.Г.* Экономико-математические методы и модели в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве; *Его же.* Кусочно-линейные экономико-математические модели с учетом неопределенности в конечномерном векторном пространстве; *Его же.* Об одном принципе прогнозирования и управления экономическими процессами с учетом фактора неопределенности в конечномерном векторном пространстве; *Его же.* Об одном критерии определенности экономического процесса в конечномерном векторном пространстве; *Его же.* Двухзвенная кусочно-линейная экономико-математическая модель и методика прогнозирования экономического процесса в условиях неопределенности в трехмерном векторном пространстве; *Его же.* Основы кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости и многовариантное прогнозирование ими экономического события; *Его же.* Разработка программного обеспечения для компьютерного модулирования прогноза экономического события с помощью кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости; *Его же.* Разработка программного обеспечения для численного построения кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом неучтенных факторов на плоскости; *Его же.* Разработка программного обеспечения для компьютерного модулирования 2-х звенной кусочно-линейной экономико-математической модели с учетом влияния факторов неопределенности в m-мерном векторном пространстве.

[11] *Алиев А.Г.* Экономико-математические методы и модели в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве; *Его же.* Двухзвенная кусочно-линейная экономико-математическая модель и методика прогнозирования экономического процесса в условиях неопределенности в трехмерном векторном пространстве.

[12] *Алиев А.Г.* Экономико-математические методы и модели в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве.

Поступила в редакцию 03.02.2010 г.